

Proces kapilarnego podciągania wody przez stwardniałe zaczyny gipsowe

The process of capillary rise of water through hardened gypsum pastes

1. Wstęp

Problem podciągania kapilarnego wody przez gips ma ważne znaczenie w analizie zawilgocenia elementów gipsowych, w przypadku zalania budynków z elementami gipsowymi. Dotyczy to budynków wykonanych z gipsu: bądź ze ścianami konstrukcyjnymi z pustaków lub prefabrykatów gipsowych (Meuś i Rzepecki (1), Klin (2)), lub ze ścianami osłonowymi z elementów gipsowych (Mikoś (3)). Rozważany problem dotyczy także budynków ze ścianami działowymi z prefabrykatów gipsowych, jak również takich, w których zastosowano płyty gipsowo-kartonowe. We wszystkich tych przypadkach awaryjnego zalania budynku lub jego fragmentu, zasięg strefy bezpośredniego zawilgocenia na poziomie stojącej wody, czy w wyniku kapilarnego podciągania wody, determinuje rozmiar szkód, zakres prac osuszających i remontowych.

Dodatkowymi przyczynami lokalnych lub strefowych zawilgoczeń elementów gipsowych w budynkach może być kondensacja wilgoci wewnątrz przegród lub na powierzchniach ścian i stropów w pomieszczeniach o zwiększonej wilgotności $RH \geq 70\%$ (kuchnie, łazienki).

Transport wilgoci w porowatych materiałach jest procesem złożonym, a oprócz przepływów fazy ciekłej i gazowej – zachodzących w porach – występuje także dyfuzja pary wodnej (Künzel, Kiessl (4)).

Kubik (5, 6) opisuje model transportu wilgoci wywołany dyfuzją pary wodnej w kapilarach, w wyniku procesów termodyfuzyjnych i przepływów dyfuzyjno-konwekcyjnych, a także związany z dyfuzją powierzchniową.

Walther (7), Ricken (8) oraz Kiessl, Krus i Künzel (9) opracowali kompleksowe modele opisujące ruch wody w materiałach budowlanych.

Do opisu kapilarnego podciągania wody w ośrodkach porowatych stosuje się zastępczy model mikrostruktury w postaci pęku kapilar (Kuczyński (11), Leśniewska i Pogorzelski (12)). Model ten został z powodzeniem zastosowany do interpretacji wyników ba-

1. Introduction

The problem of capillary water rise by gypsum elements is of critical value in the case of emergency flooding of buildings, both those with structural walls made of hollow masonry or prefabricated units (Meuś and Rzepecki (1), Klin (2)) or with gypsum panel walls (Mikoś (3)). The problem concerns also the buildings with partition walls made of gypsum prefabricated units as well as to those with gypsum plasterboards. In all cases of accidental flooding of buildings or their parts, the range of damages, which require drying and repair operations, depends upon size of the zone impaired by direct flooding or moistened by capillary rise of water.

Additional causes of local or zonal moistening of gypsum elements inside buildings may be constituted by atmospheric precipitation, condensation of moisture inside a barrier, accumulation of moisture on the surface of walls and buildings in relatively wet rooms with relative humidity $RH \geq 70\%$ (kitchen, bathroom).

Transport of water in porous materials is a complex process, because apart from transport of liquid and gas phases through the voids, there is also diffusion of water steam (Künzel, Kiessl (4)).

Kubik (5, 6) describes a model designed for transport of moisture developed by diffusion of water steam in capillary voids, by thermo-diffusion and diffusion/convection phenomena and by surface diffusion of water.

Walther (7), Ricken (8), Kiessl, Krus and Künzel (9) have elaborated models for complex phenomena specific for transport of water in building materials.

The process of capillary rise in porous bodies is described by means of a model of the body microstructure in the form of a bundle of capillary tubes (Kuczyński (11), Leśniewska and Pogorzelski (12)). The model was successfully used for interpretation of tests results of capillary water rise in some building materials, among others in concrete (Kuczyński (11), (Martys and Ferraris (13)), mortars, cellular concrete and ceramic brick (Leśniewska and Pogorzelski (12)), ceramic materials (Żygadło and Piasta (14),

dań kapilarnego podciągania wody przez niektóre materiały budowlane, między innymi betony (Kuczyński (11), (Martys i Ferraris (13)), zaprawy, beton komórkowy i cegłę ceramiczną (Leśniewska i Pogorzelski (12)), tworzywa ceramiczne (Żygadło i Piasta (14), Van der Velden (15)), betony napowietrzane (Gonal i inni (16)). Problematyka nawilgocenia porów betonów komórkowych, w wyniku kapilarnego podsiąkania wody, została wykorzystywana do prognozowania odporności na mróz betonów (Fagerlund (17), Chatterji (18)).

Zagadnienia dotyczące kapilarnego podciągania są przedmiotem badań wielu autorów. Analizowany był opis przepływu w ośrodkach wielofazowych przez kapilary o przekroju trójkątnym (Firincioglu i inni (19)). Opisano siły kapilarnego podsiąkania w przypadku kapilar o różnych profilach (20-23). Wyznaczono także współczynniki wchłaniania wilgoci dla różnych materiałów budowlanych (10, 25). Także autor wyznaczał współczynniki filtracji materiałów gipsowych w funkcji ich mikrostruktury (26-27). Badania podciągania kapilarnego wody przez materiały gipsowe są przedmiotem niniejszej pracy.

2. Charakterystyka materiałów i ich właściwości

W tabelicy 1 podano właściwości badanego materiału.

Przy stosunkowo dużej porowatości gipsu, z układem połączonych i przelotowych porów, w nawilgoconym materiale transport wody w wyniku kapilarnego podciągania ma decydujące znaczenie. Nawilgocenie sorpcyjne gipsu, przechowywanego w warunkach wilgotności powietrza RH = 98%, nie przekracza 1,5%.

Mikrostruktura stwardniałych zaczynów obejmuje pory otwarte,

Van der Velden (15)), aerated concrete (Gonal et al. (16)). The processes of moistening of cellular concrete by capillary water rise are discussed in the context of forecast frost resistance (Fagerlund (17), Chatterji (18)).

The problems of capillary water rise are analyzed by many authors. There were problems of flow in multiphase media through capillary tubes with triangular cross-section (Firincioglu et al. (19)). The forces of water rise through different capillary tubes (20-23) were described and absorption coefficients for various building materials (10, 25) were determined. Filtration coefficients, specific for various microstructures of gypsum, were also determined by the author as well (26, 27). The study deals with water rise in gypsum materials.

2. Specifications and properties of the materials considered

For properties of the materials tested see Table 1.

Due to a relatively high porosity of gypsum, the problems of capillary rise are very important. The absorption of water from humid atmosphere is less than 1.5% at RH = 98%

The microstructure of the open and through pores as well as of the closed pores, found in zones of agglomeration of allotriomorphic grains of gypsum, are shown in Fig. 1. The closed pores are not penetrated by water (see Table 1, col. 6).

Capillary rise of water was determined in two types of samples of set gypsum pastes, the first one 4 x 4 x 16 cm and the second one 10 x 10 x 50 cm. The samples of set gypsum pastes were obtained at W/G = 0.4-1.5 according to the standard procedure (28).

Tablica 1 / Table 1

CHARAKTERYSTYKA WŁAŚCIWOŚCI STWARDNIAŁEGO ZACZYNU GIPSOWEGO (26, 27)

SPECIFIC PROPERTIES OF SET GYPSUM MORTARS (26, 27)

Nr No.	Wskaźnik wodno-gipsowy W/G Water-to-gypsum ratio W/G	Gęstość stwardniałego zaczynu gipsowego ρ_p Mg/m ³ Density of set gypsum paste ρ_p Mg/m ³	Porowatość całkowita p_s Overall porosity p_s	Nasiąkliwość wagowa n_w % Absorbability n_w %	Stopień nasycenia porów wodą β Rate of filling of the pores with water β	Współczynnik filtracji k_0 (26) m/s Filtration coefficient k_0 (26) m/s	Średnica umownych kapilar d (27) nm Diameter of virtual capillary tubes d (27) nm
1	2	3	4	5	6	7	8
1.	0.4	1.425	0.380	18.53	0.694	$3.35 \cdot 10^{-8}$	733
2.	0.5	1.290	0.439	22.68	0.666	$6.54 \cdot 10^{-8}$	974
3.	0.6	1.163	0.495	33.97	0.799	$1.13 \cdot 10^{-7}$	1101
4.	0.7	1.052	0.542	36.55	0.709	$1.79 \cdot 10^{-7}$	1406
5.	0.8	0.978	0.575	47.57	0.810	$2.68 \cdot 10^{-7}$	1562
6.	1.0	0.828	0.640	59.17	0.766	$5.23 \cdot 10^{-7}$	2128
7.	1.5	0.614	0.733	101.66	0.892	$1.77 \cdot 10^{-6}$	3463

przelotowe, o różnych kształtach i wymiarach (rys. 1). Część porów w aglomeratach krystalitów gipsowych ma charakter zamknięty, niedostępny dla wody podciąganej kapilarnie (tabl. 1, kol. 6).

Kapilarne podciąganie wody przez gips oznaczono na dwóch rodzajach próbek o wymiarach 4 x 4 x 16 cm i 10 x 10 x 50 cm. Próbkę zaczynów gipsowych o $W/G = 0,4-1,5$, zostały wykonane zgodnie z wymogami normowymi (28). Próbkę po wysuszeniu w temperaturze $T \leq 40^\circ\text{C}$ zostały powierzchniowo zabezpieczone powłokami uniemożliwiającymi dyfuzję pary wodnej, pochodzącej z wilgoci kapilarnie podciąganej.

3. Dyskusja modeli kapilarnego podciągania wody w ośrodkach porowatych

W ośrodkach porowatych ruch wody w kapilarach jest przepływem laminarnym, gdyż nawet w przypadku materiałów o szerokich kapilarach liczba Reynoldsa wynosi $Re < 0,1$ (Scheidegger (29), Osiński (30)). Liczba Reynoldsa określona jest zależnością:

$$Re = \frac{2rv\rho_w}{\eta} \quad [1]$$

gdzie:

r – promień kapilary [m],

v – prędkość przepływu [m/s],

ρ_w – gęstość przepływającej cieczy [T/m^3],

η – współczynnik lepkości dynamicznej cieczy [$\text{Pa}\cdot\text{s}$].

Największy ruch wody występuje w porach o średnicy w zakresie od 300 do 3000 nm (Leśniewska i Pogorzelski (31)). Zakres ten odpowiada właśnie średnim średnicom kapilar $d = 733-3463$ nm, znalezionych przez autora (27) w zaczynach gipsowych o różnym W/G .

W kapilarze ciśnienie kapilarne p_k opisuje znane równanie Laplace'a:

$$p_k = -\frac{2\sigma_A \cos \Theta}{r} \quad [2]$$

gdzie:

ρ_A – napięcie powierzchniowe [$\text{N}\cdot\text{m}^{-1}$],

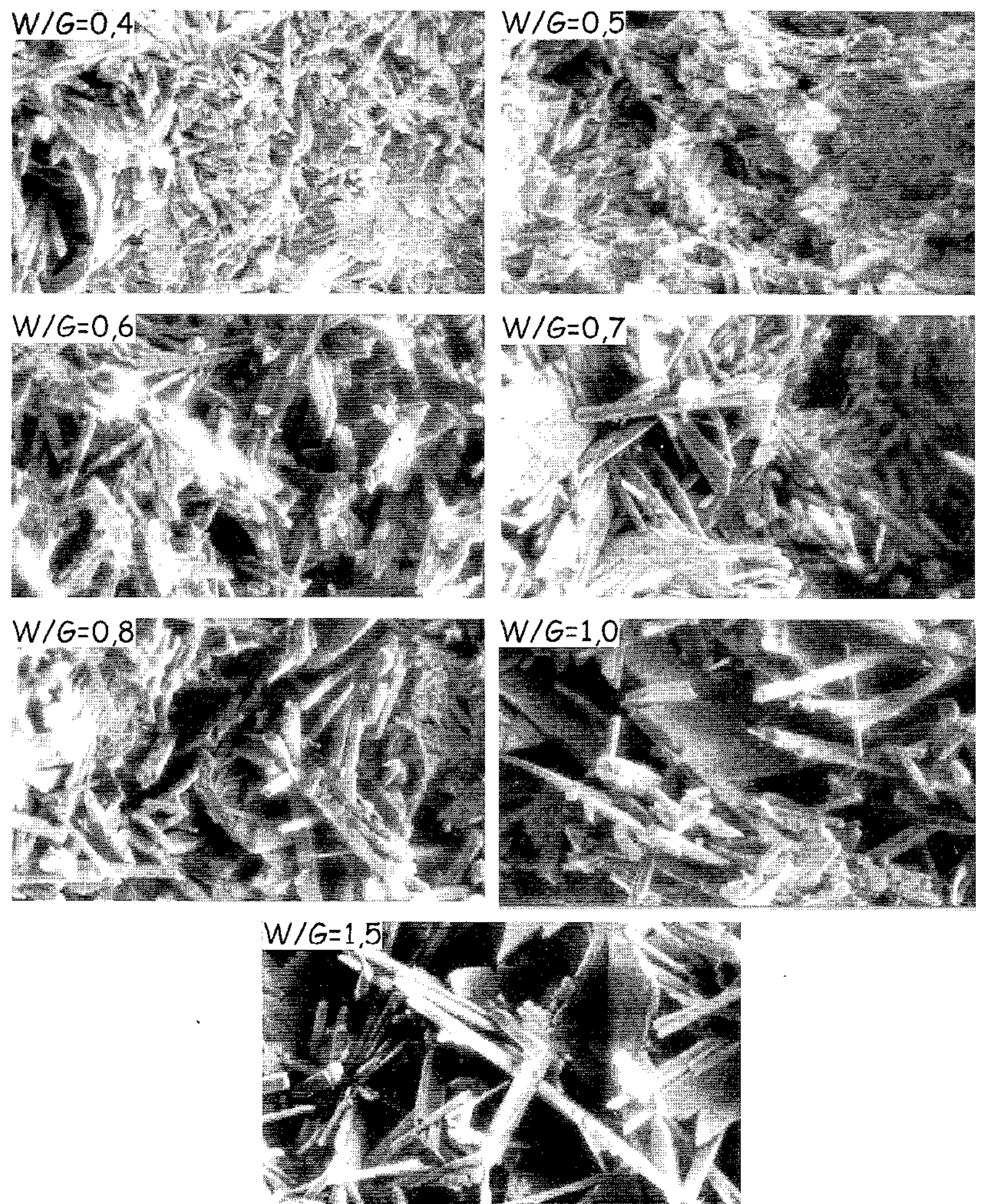
Θ – kąt zwilżenia,

r – promień kapilary [m].

Na ruch wody w kapilarach mają wpływ następujące siły:

– siła podciągania kapilarnego F_k równa:

$$F_k = \frac{2\sigma_A \cos \Theta}{r} \pi r^2 \quad [3]$$



Rys. 1. Mikrostruktura stwardniałych zaczynów z gipsu budowlanego o różnych wskaźnikach W/G , mikroskop skaningowy, powiększenie 3500x

Fig. 1. Microstructure of set gypsum pastes at various W/G . Scanning microscope 3500x

After drying at temperature of $T \leq 40^\circ\text{C}$, the samples were covered with a coat preventing diffusion of water steam generated by ascending water.

3. Discussion about the models for capillary water rise in porous media

In porous media, the ascending water flow is laminar, and even in case of wide diameter capillary tubes the Reynolds number $Re < 0.1$ (Scheidegger (29), Osiński (30)). Reynolds number is defined as the following relation:

$$Re = \frac{2rv\rho_w}{\eta} \quad [1]$$

where:

r – radius of the capillary tube [m],

v – flow velocity [m/s],

ρ_w – liquid density [T/m^3],

η – coefficient of dynamic viscosity [$\text{Pa}\cdot\text{s}$].

– siła oporów ruchu, głównie tarcie:

$$T = \frac{8\eta h}{r^2} \pi r^2 \frac{dh}{dt} \quad [4]$$

gdzie:

η – lepkość dynamiczna wody [Pa·s],

h – wysokość podniesienia wody w kapilarze [m],

– siły grawitacji

$$G = \rho_w g h \pi r^2 \quad [5]$$

Z uwagi na powolny ruch wody w kapilarach, można pominąć siły

$$\text{bezwładności } F_m = h \rho_w \pi r^2 \frac{d^2 h}{dt^2}.$$

Przyjmując równowagę sił

$$F_k - T - G = 0 \quad [6]$$

otrzymujemy równanie:

$$\frac{2\sigma_A \cos \Theta}{r} - \rho_w g h - \frac{8\eta h}{r^2} \cdot \frac{dh}{dt} = 0 \quad [7]$$

Równanie to pozwala na obliczenie szybkości ruchu wody:

$$\frac{dh}{dt} = \frac{r^2}{8\eta h} \left(\frac{2\sigma_A \cos \Theta}{r} - \rho_w g h \right) \quad [8]$$

Całkując równanie [7] otrzymuje się wyrażenie określające czas przepływu kapilarnie podciąganej wody w funkcji osiągniętego wznoszenia (12):

$$t = \frac{16\eta \sigma_A \cos \Theta}{r^3 \rho_w g^2} \left(\ln \frac{2\sigma_A \cos \Theta}{2\sigma_A \cos \Theta - r \rho_w g h} - \frac{r \rho_w g h}{2\sigma_A \cos \Theta} \right) \quad [9]$$

Przy pominięciu sił grawitacji w równaniu [7] uzyskuje się wzór:

$$t = \frac{2\eta h^2}{\sigma_A r \cos \Theta} \quad [10]$$

Z przekształcenia wzoru [10] uzyskuje się zależność $h = f(t)$ w postaci związku:

$$h = \sqrt{\frac{\sigma_A r \cos \Theta}{2\eta}} \cdot \sqrt{t} \quad [11]$$

Równanie [11] znajduje potwierdzenie doświadczalne w przypadku stwardniałych zaczynów gipsowych (rys. 3, 4).

W kapilarach następuje równocześnie transport masy rozpuszczonego gipsu, a jego stężenie sukcesywnie wzrasta na drodze kapilarnego podciągania. Na pewnej wysokości może zostać osiągnięte stężenie równe roztworowi nasycenemu, o stężeniu 2,41 g/l (Kurdowski (32)). Rozpuszczanie gipsu będzie wpływać na poszerzenie średnicy kapilar.

The main transport of water occurs in capillary voids the diameters of which range from 300 to 3000 nm (Leśniewska and Pogorzelski (31)). The range agrees with the average diameters of capillary, $d = 733\text{--}3463$ nm, found by the author (27) in set gypsum mortars of various W/G ratios.

Capillary pressure p_k , inside the capillary voids, is described by Laplace's equation:

$$p_k = -\frac{2\sigma_A \cos \Theta}{r} \quad [2]$$

where:

ρ_A – surface tension [N·m⁻¹],

Θ – wetting angle,

r – radius of capillary [m]

The movement of water inside capillaries depends on (12):

– Capillary rise force F_k equal to:

$$F_k = \frac{2\sigma_A \cos \Theta}{r} \pi r^2 \quad [3]$$

– Flow resistance, mainly due to friction:

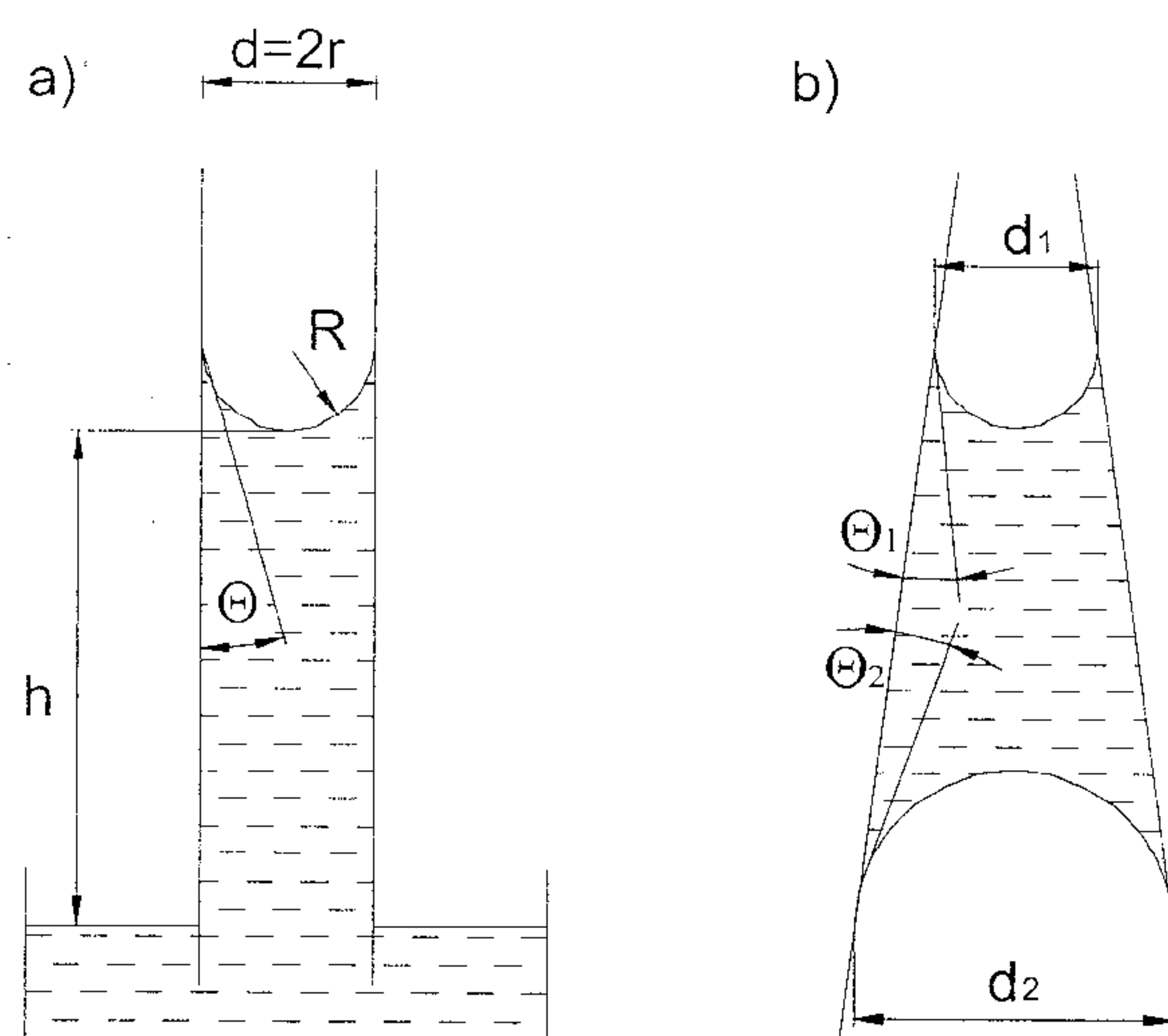
$$T = \frac{8\eta h}{r^2} \pi r^2 \frac{dh}{dt} \quad [4]$$

where:

η – water height inside the capillary [m],

h – Gravity force

$$G = \rho_w g h \pi r^2 \quad [5]$$



Rys. 2 a) Model kapilary walcowej, b) model kapilary stożkowej, o zmiennym przekroju

Fig. 2 a) Model of a cylindrical capillary tube, b) model of a conical capillary tube

4. Analiza wyników badań własnych

Pokazane na rysunkach 3 i 4 wyniki pomiarów pokazują, jak można tego było oczekiwać, wzrost szybkości kapilarnego podciągania wody wraz ze wzrostem porowatości zaczynów gipsowych, a więc o zwiększających się wskaźnikach W/G .

Stwierdzono bardzo dobrą korelację pomiędzy zwiększaniem się wysokości kapilarnego podciągania a pierwiastkiem z czasu, dla obu serii prób.

Podane w niniejszym rozdziale wyniki badań pozwalają na oszacowanie wysokości kapilarnego podciągania H wody przez gips po określonym czasie τ .

Przykładowo dla elementów wykonanych z zaczynów gipsowych o $W/G = 0,8$, w przypadku $\tau = 1$ h wysokość kapilarnego podciągania wynosi

$$h = B\sqrt{\tau} = 0,1018 \text{ m} \approx 10 \text{ cm}.$$

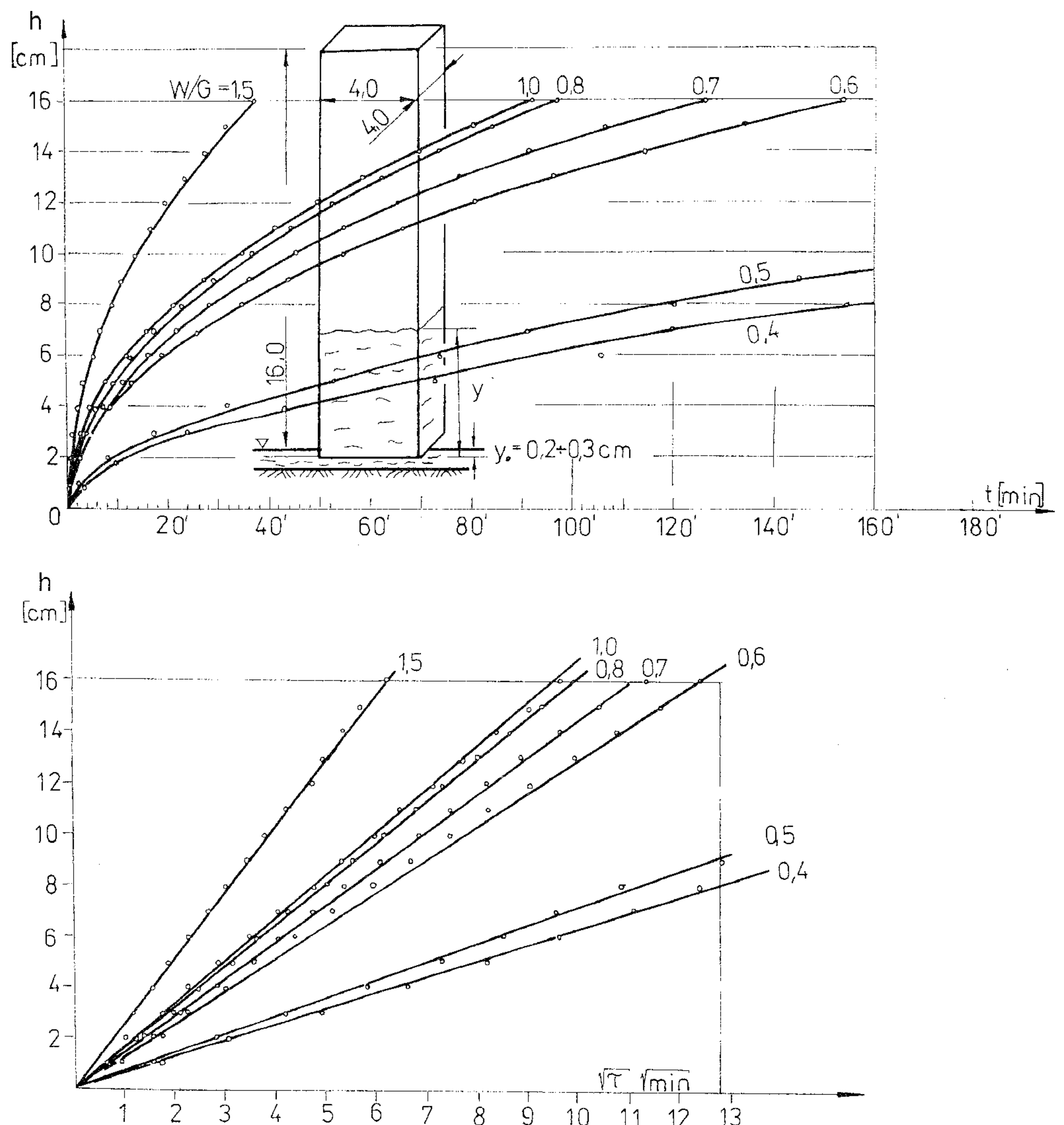
5. Oszacowania kąta zwilżenia w zastępczych kapilarach w mikrostrukturze gipsu

Napięcie powierzchniowe wody σ_A , kąt zwilżenia Θ oraz lepkość dynamiczna wody η są wielkościami fizycznymi determinującymi wysokość kapilarnego podciągania h (wzór [11]). Dla ustalonych warunków filtracji wody przez zastępcze kapilary, analizowane wielkości fizyczne: σ_A i η mają wartości stałe, zależne jedynie od temperatury. Natomiast kąt zwilżenia Θ może być zmienny.

Uzyskane w pracy wyniki badań pozwalają na analizę wartości iloczynu tych trzech wielkości fizycznych, w postaci pierwiastka $\sqrt{\sigma_A \cdot \cos \Theta \cdot \eta^{-1}}$, dla badanych zaczynów o $W/G = 0,4-1,5$, o zmiennej porowatości. Analiza ta ma duże znaczenie i może być też wykorzystana do oszacowania wartości kąta zwilżenia Θ .

6. Wnioski

Wykonane badania doświadczalne kapilarnego podciągania wody przez stwardniałe zaczyny gipsowe, w szerokim zakresie zmian



Rys. 3. Podciąganie kapilarne wody w stwardniałych zaczynach z gipsu budowlanego, o $W/G = 0,5-1,5$: h – wysokość kapilarnego podciągania, $t = \tau$ – czas od chwili zanurzenia w wodzie (beleczki pomiarowe $4 \times 4 \times 16$ cm w pozycji pionowej)

Fig. 3. Capillary water rise in hardened gypsum pastes obtained at $W/G = 0.5-1.5$, h – height of capillary rise, $t = \tau$ – exposition time (sample beams $[4 \times 4 \times 16 \text{ cm}]$ vertically soaked in water)

Bearing in mind the relatively slow movement of water inside the capillaries, the inertia force $F_m = h\rho_w\pi r^2 \frac{d^2h}{dt^2}$ may be neglected.

From the general condition of balance

$$F_k - T - G = 0 \quad [6]$$

the equation appears

$$\frac{2\sigma_A \cos \Theta}{r} - \rho_w g h - \frac{8\eta h}{r^2} \cdot \frac{dh}{dt} = 0 \quad [7]$$

The equation enables the water flow rate to be calculated:

$$\frac{dh}{dt} = \frac{r^2}{8\eta h} \left(\frac{2\sigma_A \cos \Theta}{r} - \rho_w g h \right) \quad [8]$$

wskaźnika W/G w przedziale od 0,4 do 1,5 potwierdziły, że wysokość kapilarnego podciągania h jest liniowo zależna od pierwiastka z czasu ekspozycji \sqrt{t} , podobnie jak to wykazano dla innych materiałów budowlanych (10, 12, 14, 27).

Jak można było oczekiwać, stwierdzono wzrost szybkości podciągania kapilarnego ze wzrostem porowatości zaczynów gipsowych.

By integration of the equation [7], the following relation between time of flow and water head in capillary tubes may be obtained (12):

$$t = \frac{16\eta\sigma_A \cos \Theta}{r^3 \rho_w g^2} \left(\ln \frac{2\sigma_A \cos \Theta}{2\sigma_A \cos \Theta - r\rho_w g h} - \frac{r\rho_w g h}{2\sigma_A \cos \Theta} \right) \quad [9]$$

Neglecting the gravity force in equation [7] leads to the following formula:

$$t = \frac{2\eta h^2}{\sigma_A r \cos \Theta} \quad [10]$$

Transformation of the formula [10] gives the relation $h = f(t)$ in the following form:

$$h = \sqrt{\frac{\sigma_A r \cos \Theta}{2\eta}} \cdot \sqrt{t} \quad [11]$$

Equation [11] has been experimentally confirmed for set gypsum mortars (Figs. 3, 4).

So, dissolved gypsum flows inside capillary tubes, the concentration of which increases along the migration path. At a certain level the solution becomes saturated and its concentration reaches 2.41 g/dm^3 (Kurdowski (32)). Dissolution of gypsum will result in the diameter increase of the capillary tubes.

4. Analysis of results of the examinations carried out by the author

The results of experiments (Fig. 3 and Fig. 4) showed, as it might be expected, that the rate of capillary rise of water increases in proportion to increasing porosity of set gypsum mortars, i.e. to increasing W/G ratios.

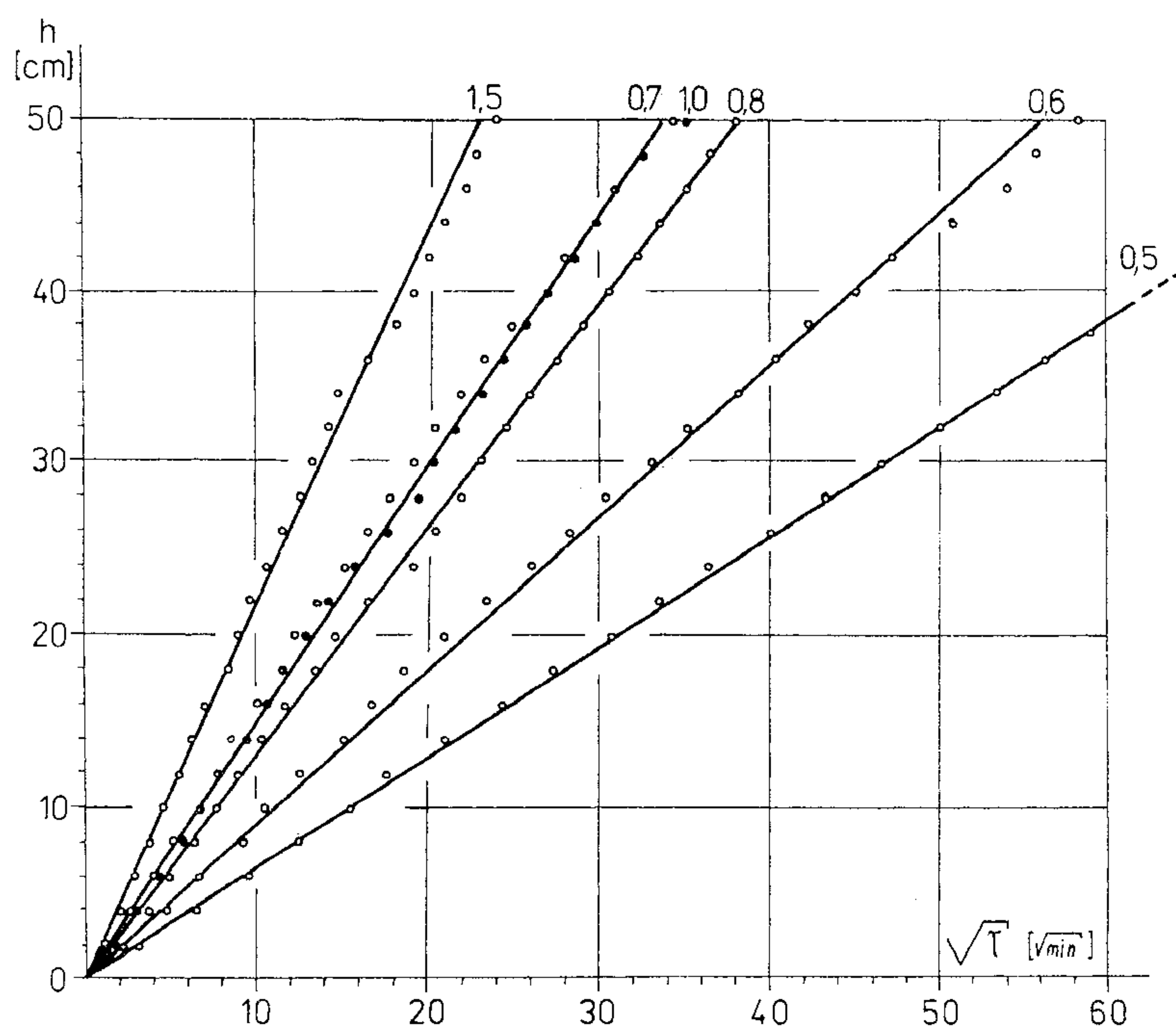
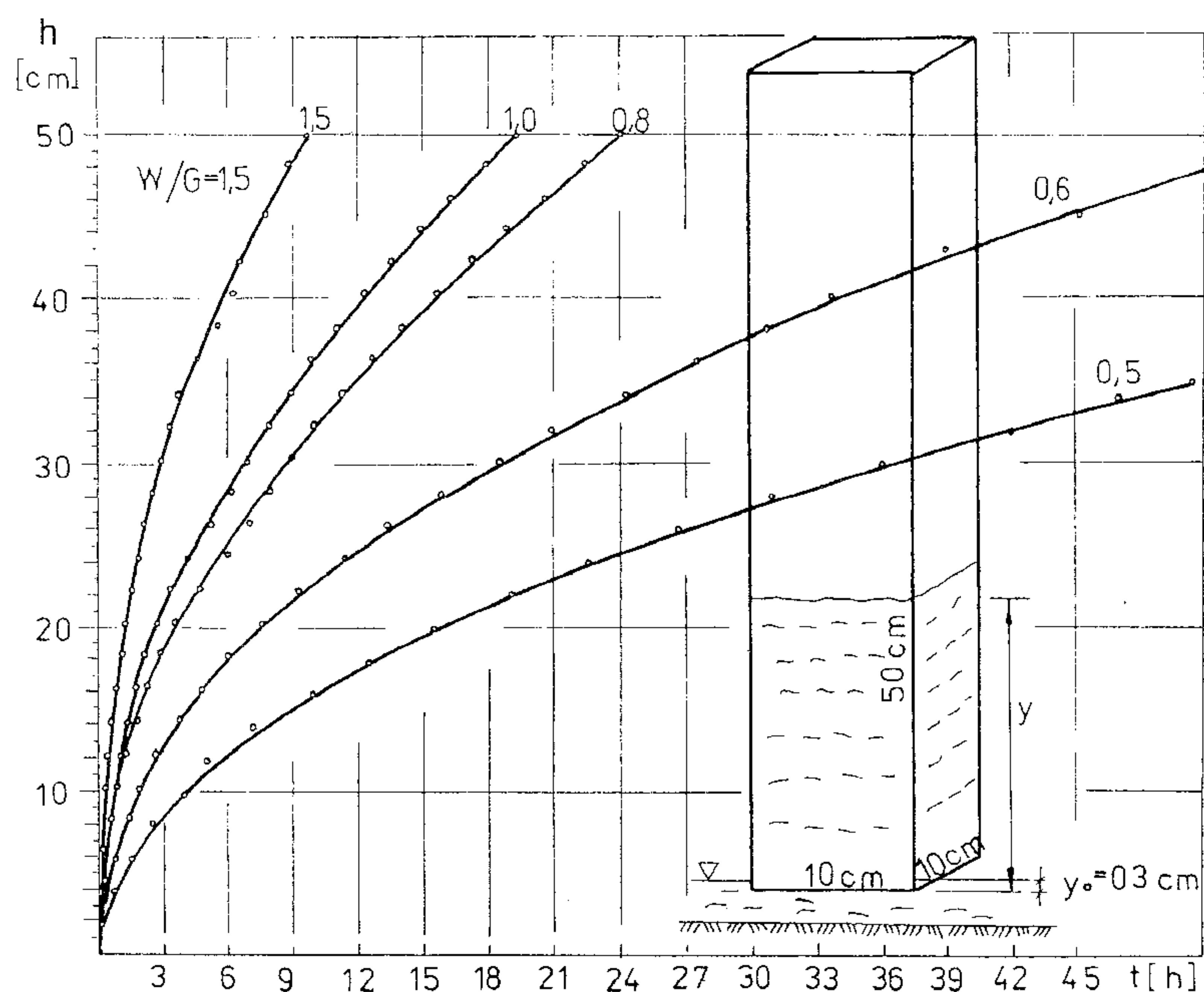
The very good correlation between increasing height of water rise and the square root of time was found for the both series of the tests.

The results of the tests, discussed here, enable practical assessment of height of capillary water rise H in gypsum over the time τ to be performed.

For example, in case of samples made of set gypsum mortars at $W/G = 0.8$, for $\tau = 1 \text{ h}$ water rose up to $h = B\sqrt{\tau} = 0,1018 \text{ m} \cong 10 \text{ cm}$.

5. Assessment of wetting angle inside virtual capillary tubes in microstructure of gypsum

According to formula [11], height of capillary water rise h , depends upon its surface tension Θ , wetting angle



Rys. 4. Podciąganie kapilarne wody w stwardniałych zaczynach gipsowych (próbki belkowe $10 \times 10 \times 50 \text{ cm}$)

Fig. 4. Capillary water rise in hardened gypsum pastes (sample beams $[10 \times 10 \times 50 \text{ cm}]$)

LITERATURA / REFERENCES

1. W. Meuś, R. Rzepecki, Elementy konstrukcyjne z tworzyw gipsowych i gipsobetonów. Arkady 1963.
2. S. Klin, Materiały Budowlane, 10, 42 (1998).
3. J. Mikoś, Budujemy z gipsu. Wydawnictwo Instytutu Ekonomiki Przemysłu Chemicznego w Gliwicach 2004.
4. H.M. Künzel, K. Kiessl, Bauphysik, 12, 140 (1990).
5. J. Kubik, Przepływ wilgoci w materiałach budowlanych. Wydawnictwa Politechniki Opolskiej 2000.
6. J. Kubik, Acta Mechanica, 70, 1-4, 51 (1987).
7. K. Walther, Gesundheits Ingenieur, 110, 4, 197 (1989).
8. D. Ricken, Bauphysik, 13, 2, 33 (1991).
9. K. Kiessl, M. Krus, H. Künzel, Bauphysik, 15, 2, 61 (1993).
10. H. Garbalińska, Izotermiczne współczynniki transportu wilgoci porowatego materiału budowlanego. Prace Naukowe Politechniki Szczecińskiej nr 571, 2002.
11. J. Kuczyński, Wodoszczelność zbiorników betonowych w teorii i praktyce. Prace Naukowe Instytutu Inżynierii Lądowej Politechniki Wrocławskiej 1976.
12. M. Leśniewska, J.A. Pogorzelski, Archiwum Inżynierii Lądowej, XXII, 2, 333 (1976).
13. N.S. Martys, C.F. Ferraris, Cem. Concr. Res., 27, 5, 747 (1997).
14. M. Żygadło, Z. Piasta, Inżynieria i Budownictwo, 2, 56 (1989).
15. J.H. Van der Velden, Ziegelindustrie International, 12 (1981).
16. M.S. Gonal, F. de Barquin, M.L. Banmelek, A. Bali, M. Quenerdec, Cem. Concr. Res. 30, 10, 1559 (2000).
17. G. Fagerlund, Materiaux et Constructions, 10, 58, 231 (1977).
18. S. Chatterji, Cem. Concr. Res., 29, 5, 781 (1999).
19. T. Firincioglu, M.J. Blunt, D. Zhon, Colloids and Surfaces A, 155, 259 (1999).
20. W. Jensen, D. Li, Colloids and Surfaces A, 156, 519 (1999).
21. T.L. Staples, D.G. Shaffer, Colloids and Surfaces A, 204, 239 (2002).
22. W.B. Young, Colloids and Surfaces A, 234, 123 (2004).
23. M. Wesółowska, Wpływ krętości kapilar na proces wnikania wody w materiale ceramicznym. Materiały Konferencyjne IX Konferencji Nauk.-Techn. "Fizyka budowli w teorii i praktyce" Cz. 2, 705, Łódź 2003.
24. PN-EN ISO 9346. Izolacja cieplna. Wymiana masy. Wielkości fizyczne i definicje.
25. A.R. Ali, V. Nikitin, Cement Wapno Beton, 2, 85 (2005).
26. S. Klin, Cement Wapno Gips, 4, 57 (1989), 6, 109 (1989).
27. S. Klin, Analiza zmienności wytrzymałości i odkształcalności gipsu w różnych stanach naprężeń i wilgotności. Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej we Wrocławiu nr 510, Rozprawy CCXXVII, Wrocław 2005.
28. PN-86/B-04360. Spoiwa gipsowe. Metody badań. Oznaczanie cech fizycznych.
29. A.F. Scheidegger, Fizyka teczenia zidkостей przez poristye sredy (Fizyka przepływu cieczy przez ośrodki porowate). Gostptechizdat, Moskwa 1960.
30. A. Osiński, Gaz, Woda, Technika Sanitarna, 11, 384 (1964).
31. M. Leśniewska, J.A. Pogorzelski, Archiwum Inżynierii Lądowej, 27, 1, 123 (1981).
32. W. Kurdowski, Chemia materiałów budowlanych. Uczelniane wydawnictwo Naukowo-Dydaktyczne. Akademia Górniczo-Hutnicza Kraków 2003.

Θ and on absolute viscosity η . For steady filtration conditions, the mentioned physical parameters of water, σ_A and η , are constants, and their values depend upon temperature only. However, the wetting angle Θ may vary.

The results obtained enable analysis of the root of the product of the three physical parameters $\sqrt{\sigma_A \cdot \cos \Theta \cdot \eta^{-1}}$ to be carried out, for W/G ratios from 0.4 till 1.5, i.e. for set gypsum pastes of various porosity.

The analysis is important and may be also used for the assessment of wetting angle Θ .

6. Conclusions

The empirical studies of capillary water rise in hardened gypsum pastes, carried out in a wide range of W/G ratios, from 0.4 to 1.5, proved that the height of capillary ascent of water h is a linear function of square root of exposition time \sqrt{t} , similarly to behavior of other building materials (10, 12, 14, 27).

As it might be expected, the higher porosity of hardened gypsum paste, the higher capillary rise rate.